

Traitement de sédiments de dragage de l'ouest algérien pour une valorisation en construction routière.

M.A. Bourabah1*, N. Abou-Bekr1, S. Taibi2

1 Laboratoire Eau et Ouvrages dans Leur Environnement, Université A. Belkaid, BP 230 - 13000 Tlemcen, Algérie, aboubekrnabil@yahoo.fr

2 Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, FRE CNRS 1302, Université du Havre, 53 rue de Prony, 76600 Le Havre, France, Said.Taibi@univ-lehavre.fr

* mbourabah2000@yahoo.fr,

RESUME :

Chaque année, plus de 32 millions de m³ de sédiments se déposent au fond des retenues des barrages algériens. Une réflexion a été menée pour une utilisation rationnelle de ces sédiments de dragage. Cette étude s'inscrit dans la recherche d'une méthodologie de gestion de sédiments dragués dans la région de l'Ouest Algérien. L'objectif est de proposer des formulations économiquement compétitives et faciles à mettre en oeuvre in situ qui permettent une valorisation de ces matériaux en géotechnique routière.

Une étude détaillée a été alors menée sur les sédiments de dragage provenant d'une retenue de l'ouest algérien (Barrage de Cheurfas). Cette étude montre l'influence d'ajout de matériau granulaire et de liants hydrauliques en tant que correcteur à la fois granulométrique et mécanique. Les principaux résultats obtenus montrent une correction granulométrique bien observée du sédiment après traitement par un matériau granulaire pulvérulent suivi d'une amélioration de la densité sèche maximale. La teneur en matières organiques n'influe pas sur la compacité du matériau, par contre elle agit défavorablement sur la portance de celui-ci.

L'ajout de la chaux vive comme type de liants hydrauliques dans ces mélanges de sédiments nous a permis de remarquer que leur influence agit sur la plasticité du matériau qui diminue nettement et en grande partie sur ces paramètres de résistance et de portance qui se trouve nettement améliorée, ce qui indiquera une bonne prise hydraulique.

ABSTRACT :

Each year, more than 32 million m³ of sediments settle to the bottom of dams in Algeria. A study was conducted for the rational use of dredged sediments.

This study is part of a research methodology for management of dredged sediments in the western region of Algeria. The goal is to provide formulations economically competitive and easy to implement in situ which allow recovery of these materials in geotechnical road. Traitement de sédiments de dragage pour une valorisation en construction routière.

A detailed study was then conducted on the sediment dredged from a reservoir in western Algeria (Dam Cheurfas) where we show in this study the influence of adding granular material and hydraulic binders as correcting both size and mechanics. The main results obtained show a good size correction of sediment observed after treatment with a granular powder followed by an improvement in the maximum dry density. The organic content does not affect the compactness of the material, it acts against negatively on the bearing of it. The addition of lime as a type of hydraulic binders in these sediment mixtures allowed us to observe their influence affects the plasticity of the material decreases significantly, and largely on the strength parameters and bearing that is clearly improved, indicating a good hydraulic jack.

MOTS CLES : sédiments de dragage, traitement, géotechnique routière, indice CBR, comportement mécanique, environnement.

KEYWORDS : dredging sediments, treatment, road geotechnical, indice CBR, mechanical behaviour, environment. XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011.

1. Introduction

Tous les barrages du monde sont exposés au phénomène de la sédimentation, mais avec des vitesses qui diffèrent d'une région à l'autre. Ce phénomène a été largement signalé aux Etats-Unis, en Russie, à Taiwan, en Iran, en France, au Soudan et en Afrique du nord.

Dans cette dernière région, près de 125 millions de m³ de sédiments se déposent annuellement au fond de 230 barrages totalisant une capacité de 23 milliards de m³, avec par ordre d'importance décroissante : le Maroc avec 65 106 m³, l'Algérie avec 32 106 m³ et la Tunisie avec 25 106 m³ (Remini et al., 2003).

L'Algérie perd ainsi un volume de stockage d'eau annuel de 32 millions de m³ sur un volume de 5.2 milliards de m³ des 114 barrages en exploitation (Mekerta et al., 2008) dont une quinzaine de ces barrages sont gravement menacés par ce phénomène d'envasement (Hallouche et Remini, 2004).

Ces quantités de matériaux sédimentés dans les retenues proviennent de l'accélération de l'érosion des bassins versants due aux conditions physiques, géomorphologiques, hydro climatiques et socio-économiques favorables.

Divers moyens techniques de lutte contre ce phénomène de sédimentation ont été utilisés par les services d'hydraulique depuis plus d'un siècle, à savoir l'aménagement des bassins versants et des cours d'eau, l'évacuation des sédiments par les vannes de fond, le soutirage des courants de densité, la surélévation et le dragage des barrages. Un nombre important de barrages a été récupéré dont la durée de vie se trouve prolongée de plusieurs années.

Cependant les quantités de sédiments évacués par les opérations de dragage et

mises à l'aval de l'ouvrage peuvent conduire à long terme à la pollution du milieu rural. Pour cela, la récupération et la réutilisation de ce sédiment devraient permettre à moyen terme la valorisation de ce sédiment de dragage dans le domaine du Génie Civil et travaux publics (Techniques routières, fabrication de briques et coulis de comblement de réseaux, etc.)

Pour une valorisation en technique routière, objet de cet article, la méthodologie utilisée est divisée en trois phases :

- La phase de caractérisation du sédiment : Cette étape permet d'identifier les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du sédiment à son état naturel et d'évaluer leur impact sur l'environnement.
- La phase de formulation : Les différentes formulations constituées seront proposées pour une utilisation en couche d'assise de chaussée (couche de fondation et couche de base).
- La phase de validation : Le but est d'évaluer le comportement mécanique et environnemental à long terme du matériau vis-à-vis du trafic et de l'environnement.

2. Présentation d'un exemple de

Le barrage Cheurfas quinzaine de kilomètres en amont de la ville de Sig (Wilaya de Mascara). Il a été mis en exploitation en 1992 et est destiné à l'irrigation des terres agricoles voisines ainsi qu'à l'alimentation Ce barrage coupant l'oued El Mebtouh, est destiné à régulariser 45 millions de m³ d'eau. L'ouvrage est construit sur les vestiges de l'ancien barrage emporté en 1927 (Labiod et al., 2001) estimée à 4190 km² avec comme altitude maximale 17 855m.

Dans le cadre de la valorisation en technique routière, le classement de dragage du barrage Cheurfas selon le guide de placer ce matériau, dans un premier temps, matériaux naturels renfermant de la matière organique. En s'appuyant sur les valeurs des données géotechniques compte la présence de la matière organique) celle de sols fins. La sous valeur au bleu et les limites d'Atterberg ce cas, l'utilisation de ce type de traitement préalable afin de répondre aux exigences de comportement demandées.

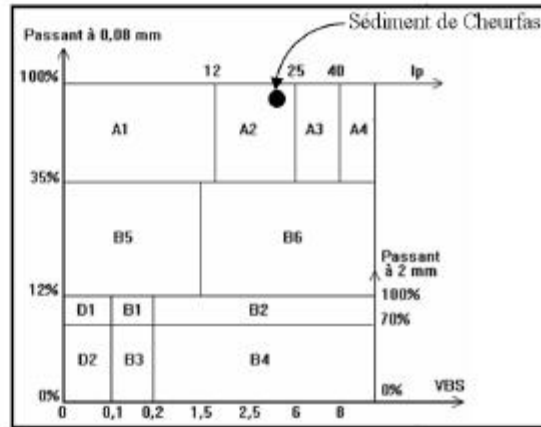


Figure 1. Classification du sédiment de Cheurfas selon Le guide GTR (LCPC-SETRA, 2000)

3. Utilisation du sédiment de Cheurfas en technique routière

Les sédiments ont une composition structurale complexe et peuvent être considérés comme un matériau évolutif (Abriak, 2007). La présence de matières organiques (11%), entraîne un comportement plastique et moyennement compressible. Les essais physico-chimiques et géotechniques effectués sur les sédiments de Cheurfas naturels et traités (Tableaux 1 et 2) démontrent bien une activité organique fortement influente sur l'ensemble de la matrice sédimentaire (Bourabah et al., 2008).

Ainsi, tant qu'aucun traitement particulier, simple ou complexe, ne sera réalisé sur ces sédiments pour détruire les matières organiques, celles-ci pourront toujours agir dans la structure du matériau.

	Sable [%]	Limon [%]	Argile [%]
Sédiment naturel	4	43	53
Sédiment calciné	21	44	35

Tableau 1. Influence de la calcination sur la distribution granulométrique du sédiment de Cheurfas.

	w_L [%]	w_p [%]	w_R [%]	I_p [%]	I_R [%]	VBS	S.S.T [m ² /g]	Ac
Sédiment naturel	62	36	9	26	53	3.22	68	0.5
Sédiment calciné	39	32	25	7	14	1.37	29	0.2

Tableau 2. Influence de la calcination sur les paramètres physico-chimiques et géotechniques du sédiment de Cheurfas.

3.1. Type de squelette granulaire recherché

Pour être utilisé en tant que couche de structure de chaussée, un matériau à distribution granulométrique étalée est conseillé (Abriak, 2007 ; Dubois, 2006). À cet effet, la granulométrie et la teneur en matières organiques sont les facteurs les plus importants à prendre en compte pour la valorisation des sédiments de dragage en technique routière. Il est nécessaire de pouvoir gérer leurs effets sur l'obtention d'un matériau durable sur le plan mécanique et environnemental, en s'appuyant sur la démarche de valorisation générale suivie dans cette étude, qui consiste, principalement, à ne pas employer de traitements lourds et coûteux. Le sédiment de dragage étudié a été ainsi mélangé à d'autres composants granulaires dans des proportions intéressantes sur le plan économique, qui permettent une application facile à l'échelle industrielle et une réduction intéressante de la teneur en eau et de la proportion de matières organiques. L'ajout de liants hydrauliques, pour l'obtention du matériau routier final, va aussi permettre, de diminuer la teneur en eau, par les phénomènes d'hydratation et d'apport de matières sèches (SfarFelfoul et al., 2003). L'ajout granulaire choisi est un sable 0/4 mm comportant 3 % d'éléments inférieurs à 80 μ m et 47 % de sable grossier. C'est un sable propre bien gradué selon la classification LCPC. La chaux utilisée est une chaux vive 0/2mm. Le traitement consiste en l'ajout d'une part, une fraction granulaire du sable 0/4mm et d'autre part de 3 % de la chaux vive 0/2mm. Ce dosage de liant ajouté correspond à ce qui est habituellement utilisé en technique routière des couches d'assise pour le traitement des sols (Abriak, 2007). Les tableaux 3, 4 et 5 présentent les types et caractéristiques physico-chimiques et géotechniques des deux formulations étudiées.

Formulations	Sédiments	Sable (0/4) [%]	Chaux (0/2) [%]	Notation
Formulation 1	30%	70	0	30% SC + 70% Sable
Formulation 2	30%	67	3	30% SC + 67% Sable + 3% Chaux

Tableau 3. Formulations des mélanges étudiés

Formulations	Sédiments	% > 63 μ m		% < 63 μ m		Cu	Cc
		Gravier [%]	Sable [%]	Limon [%]	Argile [%]		
Formulation 1	30%	28	30	17	25	88	0.08
Formulation 2	30%	29	48	11	12	56	29

Tableau 4. Pourcentages d'éléments granulaires et coefficients de courbure et d'uniformité des composants dans les formulations

Formulations	γ_s (KN/m ³)	M.O (%)	Wl (%)	Wp (%)	W _R (%)	I _p (%)	I _R (%)	Ac
Formulation 1	26.9	4.45	41	21	14	20	27	0.8
Formulation 2	26.79	3.55	32	23	25	9	7	0.75

Tableau 5. Caractéristiques physico-chimiques des formulations de mélanges étudiées

Les valeurs des coefficients d'uniformité sont largement supérieures à la valeur référence de 6 satisfaisant la granulométrie étalée des mélanges. Par contre, les valeurs des coefficients de courbure sont en deçà des valeurs recommandées ($1 < Cc < 3$). Selon les résultats des analyses granulométriques et des limites de liquidité et de plasticité, les mélanges de formulations obtenus sont classés selon le guide GTR (LCPC-SETRA, 2000) en classe A2 pour la formulation 1 et en classe B5 pour la formulation 2.

Il est dit, alors, que « la proposition de fines et la faible plasticité des formulations en classe B rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A », c'est-à-dire « des sols qui changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque la teneur en eau naturelle est proche de la teneur en eau de l'optimum Proctor » (Abriak, 2007).

Il est donc nécessaire d'évaluer la sensibilité des mélanges à l'eau à travers des essais de compactage-portance et de résistance à la compression et au cisaillement qui permettent de suivre le comportement des matériaux selon leur teneur en eau.

3.2. Comportement mécanique du sédiment de Cheurfas après traitement

Une campagne d'essais mécanique a été effectuée sur les deux formulations de

mélanges étudiés, à différents proportions, permettant de mettre en avant la variation des paramètres de compacité (γ_{dmax}), de portance (IPI, ICBRimmédiat) et de résistance mécanique (R_c , c' et f').

Le tableau 6 regroupera les valeurs de l'OPM correspondant chaque formulation.

	ω_{OPM} [%]	γ_{dmax} [KN/m ³]	A_{OPM} [%]	IPI _{OPM}	IPI _{95%ωOPM}	I _{CBR} immédiat
Sédiment de Cheurfas (SC)	23.3	15.54	5.57	14	27	---
Formulation 1	11.6	19.41	2.37	20	28	32
Formulation 2	13.35	18.82	5.17	34	46.5	42

Tableau 6. Effets de variations du sédiment de dragage Cheurfas sur les paramètres de l'Optimum Proctor Modifié et de portance

On remarque, que plus un mélange contient de sédiments, plus la teneur en eau optimale est importante, et donc moins la densité sèche et l'IPI correspondants sont importants. L'utilisation de ce sédiment sans traitement ne peut être envisagée en technique routière.

Les résultats dressés dans le tableau 6 montrent que la densité sèche maximale atteinte pour le sédiment naturel de Cheurfas est de 1.55 g.cm-3 et la teneur en eau optimale de 23.3%. Le matériau sera considéré comme utilisable pour une couche de chaussée si sa teneur en eau permet une densité sèche supérieure à 95% de γ_{dmax} (soit supérieure à 1.5g.cm-3) et pour un IPI supérieur à 35. Le sédiment de Cheurfas étudié à son état naturel ne vérifie pas cette condition pour une utilisation en couche de fondation.

La formulation 1 adoptée qui est le traitement sur ce sédiment naturel de Cheurfas (SC) par 70 % de sable a montré que :

- La teneur en eau a clairement diminué par ajout du sable (0/4) mm sur le sédiment de dragage de Cheurfas ;
- La densité maximale du matériau s'est nettement améliorée, ce qui caractérise une bonne compacité où on a obtenu une augmentation moyenne de γ_{dmax} de l'ordre de 26 % ; Seulement l'inconvénient décelé est la faible valeur de l'IPI (< 35) avec une variation brutale de cet indice où une petite variation de teneur en eau, entraîne des perturbations en terme de portance et donc risque d'apparition de l'effet dit « Matelas » Les sédiments, comme les mélanges sont donc sensibles à l'eau et leur emploi sans liants risque d'être préjudiciable pour la durabilité de la chaussée. Cette sensibilité est liée à la présence de matières organiques, qui par rétention de l'eau, accroissent les phénomènes.

L'ajout de la chaux comme type de liants, dans la composition du matériau final, a permis de modifier les valeurs des paramètres de comportement. En effet l'analyse des résultats obtenus sur le tableau 6 montre :

- Une nette amélioration de la densité maximale du matériau contenant ce liant avoisinant les 20 kN/m3, ce qui signifie une bonne compacité ;
- Les indices de portance sont nettement améliorés avec l'ajout de la chaux où la

valeur de l'indice IPI à 95 % de l'OPM est supérieure à la valeur de 35 pour une utilisation comme couche de fondation ce qui favorisera leur utilisation en couches d'assise des routes ;

À partir des résultats de l'essai proctor modifié, des échantillons ont été confectionnés à wOPM et 98,5% gdOPM compactés statiquement à l'aide d'une presse statique. Les éprouvettes ainsi compactées sont conservées chacune à l'air libre pour une durée allant d'une journée à 180 jours. Les résultats des essais de compression simple (Figure 2) montrent que :

– La résistance à la compression simple croît avec l'âge des échantillons ou un accroissement important de cette résistance apparaît pour les deux types de formulations à partir d'une durée de cure de 28 jours et qu'à 90 jours elles se stabilisent pour devenir sensiblement égales.

– Le critère de résistance minimale ($R_c = 1$ MPa) fixé par le GTS (LCPCSETRA, 2000) pour autoriser la circulation sur la couche traitée est bien atteint avant 7 jours de durée de cure ;

– À partir d'une durée de 28 jours, on constate une évolution importante de la résistance mécanique pour la formulation traitée à la chaux vive ajoutée pour laquelle se stabilise à une durée de cure de 90 jours. Cette forte augmentation de la résistance mécanique après 28 jours est justifiée par la réaction d'hydratation de la chaux pendant cette période. Cette action qui permet l'apparition d'espèces insolubles et résistantes qui agglomèrent les particules du sol permettant par la suite d'augmenter leurs performances mécaniques.

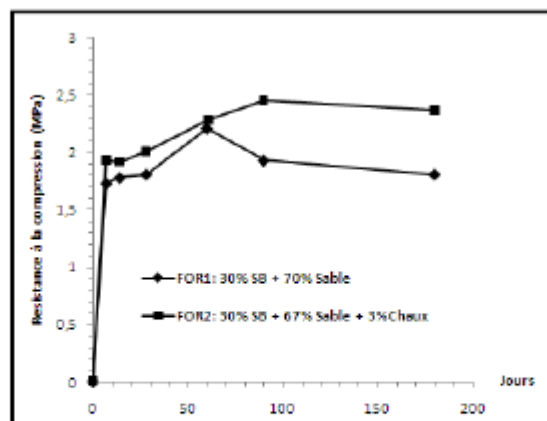


Figure 2. Variation de la résistance en compression simple avec modification de la teneur en eau des deux formulations.

Des essais triaxiaux consolidés non drainés (CU) ont été effectués sur des échantillons compactés à l'OPM pour la formulation 1 et conservés à un âge de 28 jours pour la formulation traitée à la chaux. La figure 3 donne les courbes ($q-\epsilon_1$) et ($q-p'$) caractérisant le comportement mécanique des deux formulations à des contraintes de confinement effectives de 100, 300 et 500 KPa. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 7..

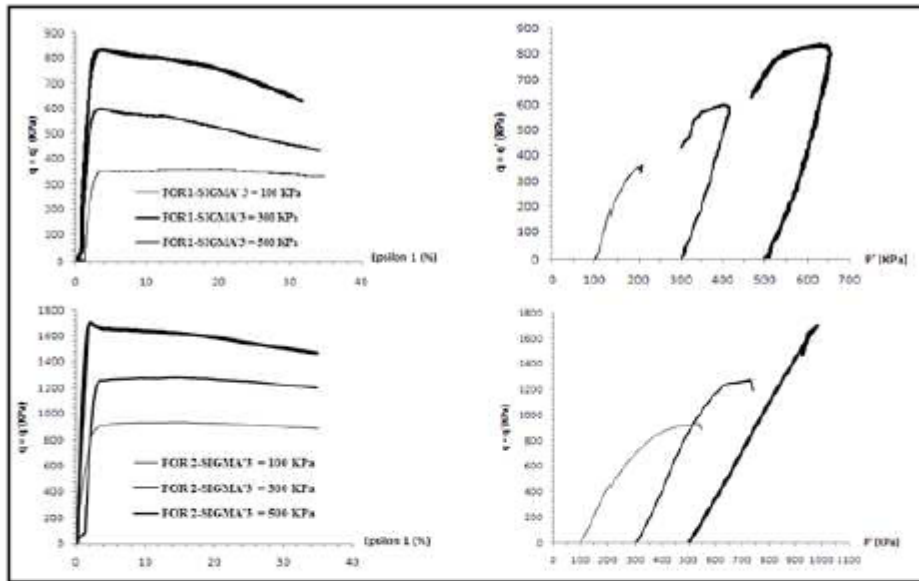


Figure 3. Courbes $(q-\varepsilon_1)$ et $(q-p')$ des deux formulations étudiées.

	M	q_0 (KPa)	Φ_u (°)	C_u (kPa)	E_{50} (kPa) $\sigma'_3=100$ kPa	E_{50} (kPa) $\sigma'_3=300$ kPa	E_{50} (kPa) $\sigma'_3=500$ kPa
Formulation 1	1,41	130	35	64,2	9000	23076,92	32054,62
Formulation 2	1,74	40	42	21	42460,91	33630	94620

Tableau 7. Paramètres mécaniques d'essais triaxiaux CU effectués sur les deux types de formulations à des contraintes effectives ($\sigma'_3 = 100, 300$ et 500 KPa)

On remarque que le traitement à la chaux vive améliore nettement la résistance au cisaillement du matériau où une augmentation de 160% de cette résistance a été constatée entre la formulation traitée de liant par rapport à celle traitée de sol granulaire. Ce taux d'augmentation de résistance diminue avec l'augmentation de la contrainte de confinement. L'angle de frottement interne s'est amélioré de 20% par introduction de la chaux vive dans la formulation 2 avec aussi une réduction de plus de 50% de la cohésion. Il est aussi constaté que quelque soit la formulation du traitement utilisé, le module sécant croit lorsque la contrainte de confinement effective augmente. La valeur de ce module sécant est plus importante pour la formulation 2 (traitée à la chaux) que pour celle non traitée.

4. Conclusion

La démarche de valorisation envisagée dans cette étude, s'appuie sur des choix de préparation et de formulation simples, facilitant l'utilisation du sédiment de dragage de Cheurfas en technique routière.

Ce sédiment à granulométrie serrée fine a mis en évidence une teneur en eau

naturelle importante et une présence de matières organiques remarquables. Cette teneur en M.O influence les comportements physique et mécanique de ce matériau.

L'analyse des résultats des essais physico-chimique et mécaniques obtenu sur les formulations de mélanges étudiés est encourageante quand à la gestion de ce sédiment de dragage où une correction granulométrique a été bien observée suivi d'une amélioration de la densité sèche maximale obtenue en substituant ce sédiment à un matériau granulaire pulvérulent. Les teneurs en eau optimales obtenues se trouvent relativement réduites et la teneur en matières organiques n'influe pas sur la compacité du matériau, par contre elle agit défavorablement sur la portance de celui-ci. L'ajout de la chaux vive comme type de liants hydrauliques dans ces mélanges de sédiments nous a permis de remarquer que leur influence agit sur la plasticité du matériau qui diminue nettement et en grande partie sur ces paramètres de résistance qui se trouve nettement améliorée ou le critère de résistance minimale à la compression fixé par le GTS (LCPC-SETRA, 2000) pour autoriser la circulation sur la couche traitée est atteint avant 7 jours de durée de cure, l'angle de frottement interne s'est amélioré de 20% avec une réduction de plus de 50% de la cohésion, ce qui indiquera une bonne prise hydraulique.

5. Références bibliographiques

Abriak N., Améliorer la valorisation des déchets industriels en BTP, Guide Technique Régional Relatif à la méthodologie de gestion des sédiments de dragage portuaire,

Démarche PREDIS Nord Pas de Calais, Groupe de travail n°5, Novembre 2007, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Douai.

Bourabah M.A., Abou-Bekr N., Taibi S., « Valorization of dredging muds of algerian dams.

Case of the Cheurfas dam », *Symposium International sur le Management des Sédiments I2SM*, Ecole des Mines de Douai & Cd2e, Lille, 9-11 Juillet 2008, France, p.573-576.

Dubois V., Etude du comportement physico-mécanique et caractérisation environnementale des sédiments marins-Valorisation en technique routière, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Douai, 2006.

GTR., Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme, fascicules 1, principes généraux, 100p, 2000, LCPC-SETRA.

GTS., Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques en remblai et en couche de forme, Guide technique, 240p, 2000, LCPC-SETRA.

Traitement de sédiments de dragage pour une valorisation en construction routière 21

Hallouche W., Remini B., « Le dragage des retenues de barrages : quelques exemples algériens », *la houille blanche*, n°5, 2004, p. 95-100.

Labiod Z., Benamra T., Benrahou H.K., Rabah M., « Auscultation des barrages en Algérie »,

Séminaire National de Génie Civil SNGC'01, Sidi Bel Abbès, 13-14 mai 2001, Algérie.

Mekerta B., Semcha A., Rahmani F., Troalen J.P. « Erosion spécifique et caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments du barrage de Fergoug », *Xème Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil*, Sophia Antipolis, 14-16 Octobre 2008.

Remini B., Avenard J.M., Kettab A. *Envasement des barrages*, les éditions CEDOC 2003.

Sfar Felfoul H., Rahali L., Mahmoudi M.A., Chedly S., « Traitement des sols à la chaux et au ciment en technique routière tunisienne : présentation d'un exemple », *Séminaire International de Géomatériaux*, M'sila, 10-11 mars 2003, Algérie, p. 55-66.